外邦図の画像識別による朝鮮半島の環境変遷の分析
―歴史地図の土地利用・土地被覆のセマンティック・セグメンテーション―

式見悠一朗*・中谷友樹・関根良平***・磯田弦*****

Analysis of Environmental Transformation in the Korean Peninsula through Image Recognition of Gaihozu (the Former Japanese Army Maps)
- Semantic segmentation of land use and land cover in historical maps -

Yuichiro Shikimi*, Tomoki Nakaya**, Ryohei Sekine***, Yuzuru Isoda*****

Abstract: Gaihozu are “maps of external territories” compiled by the former Japanese Army from the Meiji era through the end of the Pacific War, primarily for military and colonial administrative purposes. Because they contain detailed geographic information for parts of the Asia–Pacific where historical sources are scarce, they constitute valuable materials for historical and geographical research. In this study, we target Gaihozu of the Korean Peninsula and apply U-Net to perform semantic segmentation into nine classes—paddy fields, buildings (three subclasses), water bodies, sandy–gravel areas, wetlands, muddy ground, and background. Before training, we conducted georectification to achieve spatial alignment with contemporary geospatial datasets. Training was carried out for 98 epochs; the Dice loss decreased to 0.2, and the mean IoU exceeded 0.6 and remained stable at that level. Going forward, by comparing the historical maps with present-day maps, we aim to quantify how conversions from low-lying and paddy areas to urban land have influenced current urban disaster vulnerability.

Keywords: 歴史地図（historical map），セマンティック・セグメンテーション（semantic segmentation），朝鮮半島（Korean peninsula），地形図（topographic maps），土地利用・土地被覆(land use/land cover)

１．はじめに

外邦図とは，旧日本陸軍が明治時代から太平洋戦争終結時にかけて整備した一連の国外の地図群を指す．資料に乏しい戦前のアジア太平洋地域に関する詳細な土地の記録として学術的に大きな価値を有する．衛星画像が登場する前の時代の貴重な情報源であり，現代のデータと組み合わせることで，変化の激しいアジア太平洋地域における環境や景観の変動，さらには地球環境問題の研究に活用できる可能性を外邦図は秘めている(小林, 2006)．

古地図画像には，手書きを含む描画方法や長年の保存による経年劣化に由来する，多くのノイズが含まれている．このため，古地図の正確なデータ化や分析には多くの課題があり，一般に機械を用いた解析が難しいとされている．しかし，この困難を克服するために，U-Net などの手法を用いてかつての湿地など土地被覆の変遷を分析する研究や，道路網・都市域の時系列変化を分析する研究などがみられるようになってきた (O’hara et al., 2024)．その一方で，このような機械的な手法を用いた古地図の研究は日本において数が限られている（田林，2025）．

外邦図に関する学術的価値は認識されており，目録などの整備が進められた 2000 年代以降に様々な研究が展開された．しかし，既往研究は外邦図の作成経緯に関するものや，人力で判読して個別地域を分析したものがほとんどである．本研究の目的は，外邦図の潜在的価値を機械学習により再解釈し，広域かつ再現可能な手法で歴史的土地利用・土地被覆情報を抽出し，環境変遷の分析や都市の災害脆弱性評価などの利用へと橋渡しすることである．

具体的には次の 2 点の達成を目指す．第 1 に，方法論の構築とその検証である．機械学習を活用した外邦図の解析手法を提案し，他地域・他時期へ展開可能な再現性と頑健性を検証する．そして第 2 に，提案した手法により，朝鮮半島の土地利用・土地被覆の変化を定量化することである．これにより，従来の手作業・個別事例中心の研究を超え，網羅性と統計的妥当性を備えた歴史的環境変化の実証を行う．

*　学生会員　東北大学大学院環境科学研究科 (Tohoku University)
〒980-8572 仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1 Email: shikimi.yuichiro.s2@dc.tohoku.ac.jp
**　正会員　東北大学大学院環境科学研究科・理学研究科 (Tohoku University)
*** 非会員　東北大学大学院環境科学研究科・理学研究科 (Tohoku University)
****正会員　東北大学大学院理学研究科 (Tohoku University)

2．資料

本研究では，朝鮮半島の外邦図を対象とする．外邦図は 2000 年代以降，国内の大学・研究機関によって目録化やデジタル化が進み，画像データによって閲覧可能な環境が整備された（中谷ほか，2024）．主要 4 拠点（東北大学・お茶の水女子大学・京都大学・大阪大学）が所蔵する外邦図のデータベース上では合計 20,916 枚が把握されている．一方で，外邦図の残存状況に地域的偏りがあることや，データベース上は存在しても画像データが欠損しているといった課題も残る．

こうした制約を踏まえ，以下の理由により研究対象を朝鮮半島と定めた．第 1 に，朝鮮半島のほぼ全域について地図が現存していることである．当該地域は図幅の残存率が高く空間的な欠落が少ないため，連続した図郭が確保できる．第 2 に，土地利用・土地被覆の詳細な情報が得られる地形図がほとんどであることである．朝鮮半島については 1:50,000 および 1:25,000 の地形図が多数を占め，等高線・河川・湿地・水田・建物記号など土地利用・土地被覆の判別に有効な記号体系が一貫して用いられている．第 3 に，外邦図同士での時系列評価が可能であることである．同一図幅について初版・修正版等の複数版が残る例が多く，外邦図間の差分解析（例：水田・低湿地の改変，市街地縁辺の拡大）を外邦図が作成された 1900～1940 年代にかけて行うことができる．

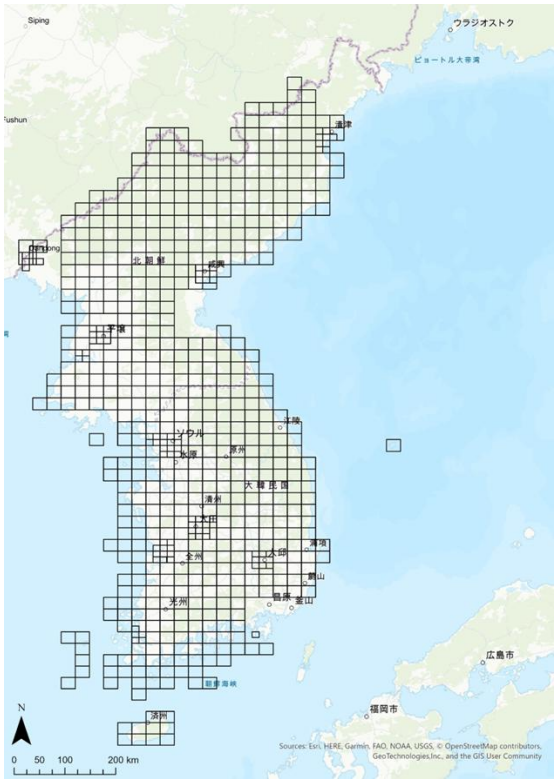


図 1　朝鮮半島を対象とした外邦図の分布

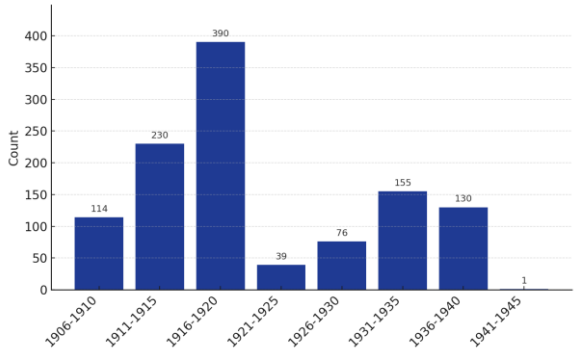


図 2　朝鮮半島の外邦図の年代別分布

3．方法

3.1　幾何補正

外邦図の「地図面（余白を除く描画領域）」を GIS 上に投影するため，以下の手順で幾何補正を行った．まず各図幅について，地図面の四隅のピクセル座標を手動で取得する．また，四隅近傍に印刷された経緯度表記を読み取り，それを日本の旧測地系(Tokyo Datum)に基づく緯度・経度情報として採用した．これらの取得した情報をもとに 旧測地系 から Web メルカトルへ変換した．その後，地図面を台形と仮定し，余白を一括トリミングした．

以上の画像処理を朝鮮半島かつ経緯度注記を有する 1,239 図幅に適用し，すべて GeoTIFF 形式で保存した．これにより，後続のタイル化・セグメンテーション処理を座標一貫で実施できる基盤を整えた．

3.2　検出する土地利用・土地被覆の選定

外邦図の記号体系と後年の実態との比較・災害脆弱性評価という将来の研究課題を踏まえ，9 クラス（水田・建物 3 種・水域・泥地・砂礫地・湿地・背景）に対するセマンティック・セグメンテーションを行った．これらの地図記号は判別性が高いという特徴をもつ．記号のみでは領域を確定することが難しいものもある中で，上に示した 9 クラスは判読から領域の確定までを比較的容易に行うことができる．

また，これらの土地利用・土地被覆は時系列での変化が大きく，水田から宅地への転換，水域改変や干拓・埋め立て，河川改修などが顕著であるため，外邦図と現代

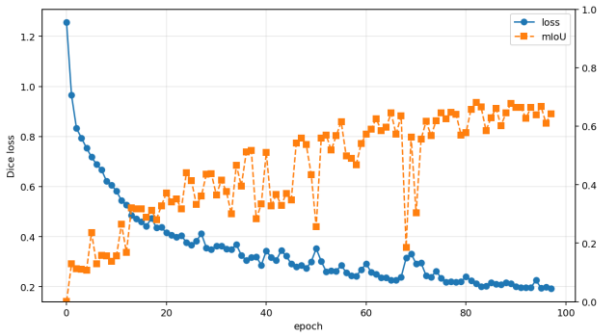


図 3　Dice 損失と IoU の平均値の推移

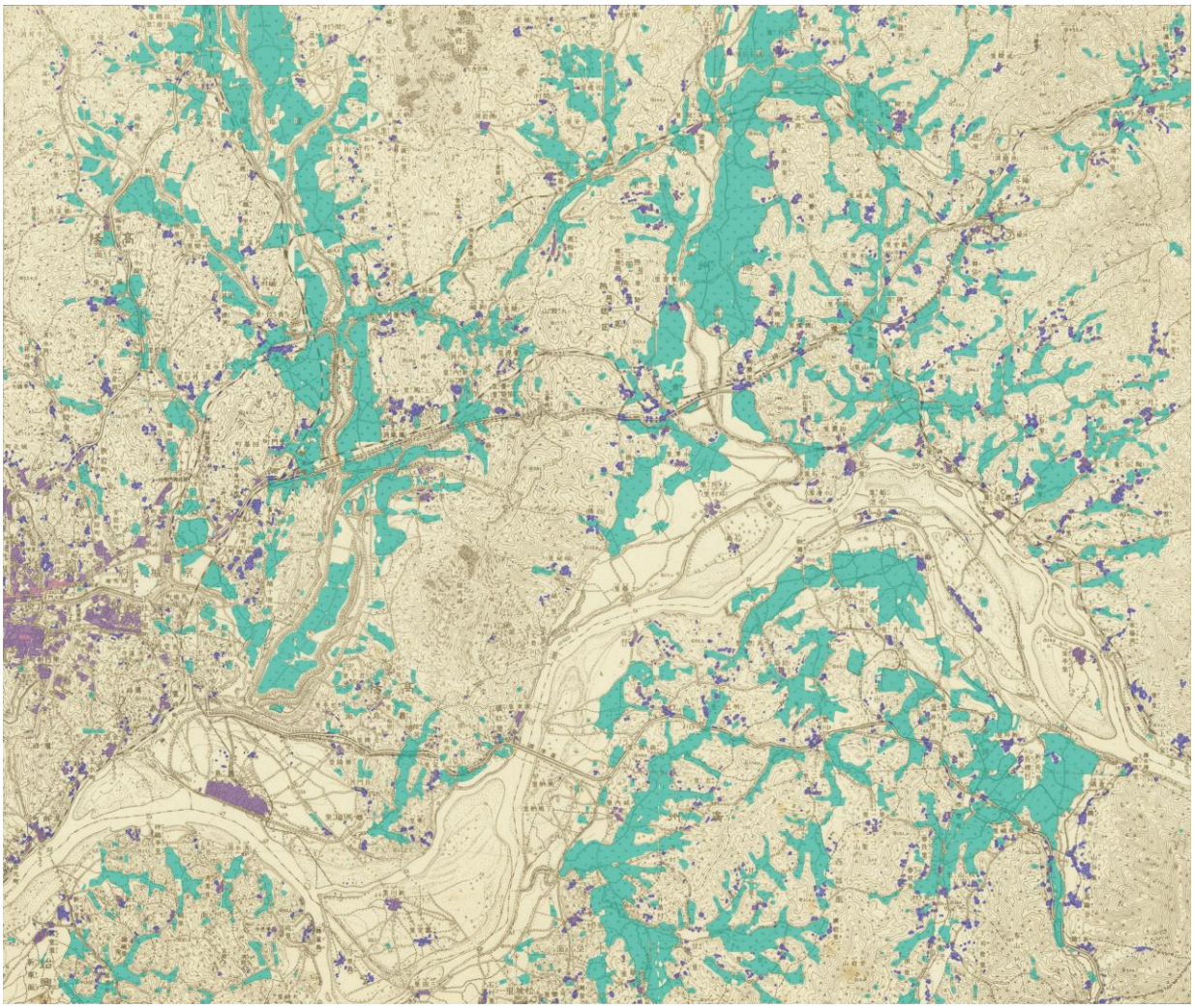


図 4　京城東部のセグメンテーションの結果（緑：水田，ピンク：建物が密集しているエリア，紫：大きい建物，青：建物）



図 5　京城の中心部付近の拡大図

地図を比較することで長期的な変化を定量化できる点にも学術的意義が見出せる．さらに，これらは都市の災害脆弱性と直接的に関連しており，特に水田・湿地・泥地・砂礫地は軟弱地盤や氾濫原として浸水・液状化に直結する．

こうした理由から，これら市街地および低湿地に関する 9 クラスは，外邦図を用いた歴史的土地利用変化の分析や都市の災害リスク評価においてセマンティック・セグメンテーションによる情報抽出の対象として優先順位の高い対象として本研究でとりあげることとした．

3.3　深層学習モデル

医療画像解析などに用いられる深層学習モデル「U-Net」を用いる(Ronneberger et al., 2015)．このモデルは画像のセグメンテーションを高精度で実行するために設計されている．U-Net の特徴は，エンコーダとデコーダの各層をスキップ接続で結ぶことにより，細かな情報を保持しながら詳細なセグメンテーションを可能にする点にある．現在，古地図のセグメンテーションにも広く使用されており，その性能の高さも実証されている(Mäyrä, 2023).

3.4　土地利用・土地被覆のセマンティック・セグメンテーションの実施

解析を始めるにあたって、CVAT（Computer Vision Annotation Tool）を利用して手動でアノテーションを行い、教師データとして利用するマスクデータを作成した。この作業にあたっては、1 枚の地図に 7 日ほどの時間を要した。

解析の手順としては，まず外邦図の画像を 384×384 ピクセル単位にパッチ化し，画像データとマスクデータを train，validation，test に 7:2:1 の割合で分割した．続いて，U-Net を用いたセマンティック・セグメンテーションの学習を train データで行い， Dice 損失によって精度を評価した．また，過学習を防ぐために validation データの IoU の平均値を用いた Early Stopping を導入し，学習の最適な終了時点を決定した．モデルの性能は validation および test データに対して IoU を算出することで評価し，最良の結果を示したモデルを保存した．この最適モデルを用いて全図の推論を行い，その出力結果をポリゴン化して解析に利用した．

４．結果

学習は 98 エポックにわたって行われた．ここでエポックとは，学習に使うデータセット全体を一回学習に使うサイクルを何回行ったかを指す数値である．

Dice 損失は訓練の進行に伴って一貫して減少し，終盤にはおおむね 0.2 前後に収束した．一方，各クラスの IoU の平均値は学習が進むにつれて顕著に改善し，最終的には 0.6 を超える水準に達した．その後のエポックでは 0.6 台で変動しつつも安定的に推移していたが，これは過学習の兆候を示さずに性能が飽和しつつあることを示すと考えられる．

これらの結果から，本モデルは外邦図の土地被覆判別において一定の判別性能を獲得したと考えられる．しかしクラス別に見ると，水田が約 0.7 の IoU を示したのに対し，他クラスでは 0.5 を下回ることが多い結果となった．

５．考察

本研究は，朝鮮半島の外邦図に対して U-Net を用い，水田・湿地・水域・砂礫地・泥地・建物（3 区分）・背景の 9 クラスを自動抽出できることを示した点に意義がある．とりわけ，歴史地図から得た土地被覆を幾何補正により現況データと空間整合させる一連のパイプラインを実装し，水田・低湿地から市街地への転用などの長期変化を定量化可能とした。

過去の湿潤地の残存・消失と現代市街地の重なりを定量比較することで，浸水リスクのような災害脆弱性の高い領域の抽出や優先的な災害対策のための候補地の提示といった実務的意思決定支援が可能となる．これを踏まえると，本研究の結果は，蓄積された外邦図画像のデータから防災計画を含む都市政策に資する地理情報を機械的に得る可能性が示された．また，戦前の朝鮮半島における市街地分布について，統一的かつ高精細な GIS データセットは現時点で確認できない．これに対し，外邦図の分析を通してそのようなデータセットを作成できる可能性も考えられる．100 年前の市街地の復元を通して，歴史地理学の発展に資することができると考えられる．

一方で，土地利用・土地被覆のクラス別 IoU の差は小さくない。主な要因は地図上での記号出現頻度の偏りが学習分布の偏りに直結した点にある．実用的応用に耐える堅牢性をさらに高めるには，以下の課題に計画的に取り組む必要がある．

（1）データ拡充とバランシング：出現頻度の低い記号（湿地・泥地・砂礫地など）を意識した追加アノテーションの実施，難例の重点サンプリング，クラス重み付け損失による不均衡学習の是正．

（2）劣化・印刷差への頑健化：退色・網掛け濃度・線幅差・スキャン解像度差を想定した色調補正や記号の線画強調（エッジ強調・形態学的処理）の導入．

（3）異なる種類の地図への対応：様式が少し異なる地図を適切に学習データに組み込む．

今後は，データ不均衡と図式多様性に起因するクラス間性能差を縮小することで，歴史的経緯を踏まえた防災計画・都市政策への応用可能性を一層高めていく予定である．また、中国やインドネシアなど外邦図の保存状況が良い他地域についても同様の手法が活かせるかの検証についても検討する予定である。

謝辞

本研究の推進には，JSPS 科研費 JP22H00245（代表：奥貫圭一）の助成を利用した．

参考文献

小林茂（2006）近代日本の地図作製と東アジア―外邦図研究の展望―．「E-journal GEO」，1（1）， 52-66.

田林雄（2025）地形図のデジタル化における AI の適用．「日本地理学会発表要旨集」，297.

中谷友樹，星田侑久，関根良平，磯田弦（2024）外邦図デジタルアーカイブ―アジア太平洋地域を中心とした旧日本軍製のデータベース―．「地理情報システム学会講演論文集」，未刊.

O'Hara, R., Marwaha, R., Zimmermann, J., Saunders, M., Green, S. (2024). Unleashing the power of old maps: Extracting symbology from nineteenth century maps using convolutional neural networks to quantify modern land use on historic wetlands. *Ecological Indicators*, **158**, 111363.

Ronneberger, O., Fischer, P., and Brox, T. (2015) U-net: convolutional networks for biomedical image segmentation. *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015, Lecture Notes in Computer Science*, **9351**, 234–241.

Mäyrä, J., Kivinen, S., Keski-Saari, S., Poikolainen, L., and Kumpula, T. (2023). Utilizing historical maps in identification of long-term land use and land cover changes. *Ambio*, **52**, 1777-1792.